

Олександр Богданов, Всеволод Геранін, Олег Рибальський

УДК 681.3.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ОСНОВ ТЕОРІЇ ВИЯВЛЕННЯ СЛІДІВ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ФОНОГРАМ

Олександр Богданов, Всеволод Геранін*, Олег Рибальський**

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації НТУУ "КПІ"

*Національний технічний університет України "КПІ"

**Національна академія внутрішніх справ України

Анотація: Розглянуто основну методологію розробки основ теорії та принципи побудови моделей цифрової обробки цифрових та аналогових фонограм, що надаються на судово-акустичну експертизу. На прикладі конкретного, найбільш складного для виявлення у процесі проведення експертизи способу обробки показано, що навіть у разі такої обробки в сигналах, які містяться у фонограмах, виникають спотворення форми і спектру, що можуть бути виявлені при експертизі за допомогою оригінальної програми Academy.

Summary: The methodology of development of bases of the theory and principles of construction of models of digital processing of digital and analog soundtracks given for judicial acoustic examination is considered. On an example concrete, most complex for revealing at examination, way of processing, is shown, what even in case of such processing in signals contained in soundtracks, there are distortions of the form and spectrum, which can be revealed at examination with the help of the original program Academy.

Ключові слова: Аналогова фонограма, цифрова фонограма, цифрова обробка, модель обробки.

I Вступ

Методологія розробки теорії виявлення слідів цифрової обробки аналогових та цифрових фонограм передбачала розгляд процесів, що відбуваються при запису, відтворенні сигналів в аналоговій та цифровій формах та цифрової обробці сигналів, які містяться у цих фонограмах [1]. Розробка була спрямована на те, щоб визначити зміни сигналів, що беззаперечно виникають при такій обробці та можуть правити за її ідентифікаційні ознаки. Теоретичний розгляд цих процесів показав, що єдиними надійними ідентифікаційними ознаками цифрової обробки є спотворення форми (і, відповідно, спектру) сигналів, які виникають при такій обробці. Потім моделювалися різні способи обробки фонограм, що дозволило з'ясувати умови дій гіпотетичного фальсифікатора. Шляхом розгляду моделей було встановлено, що важливим аспектом обробки є форма даних при вводі/виводі фонограм у комп'ютер та апаратуру запису – аналогова або цифрова. Також можливі і комбінації з цих варіантів, але вони є похідними від них [1 – 3]. Розгляд моделей показав, що при будь-якому способі цифрової обробки фонограм в них завжди залишатимуться її сліди, що, в свою чергу, дозволило з'ясувати умови реалізації аналізатора, здатного до їх виявлення при проведенні експертизи.

II Основна частина

При побудові моделей цифрової обробки фонограм [1 – 4] було прийнято методологічний підхід, що ґрунтується на моделюванні можливих дій фальсифікатора. При цьому враховувалося, що гіпотетичний фальсифікатор має високий рівень знань у галузі цифрової обробки сигналів та є фахівцем у галузі акустики. Тобто вважалося, що людина, яка займається цією "брудною справою", має високий фаховий рівень, який може значно перевищувати рівень спеціальної підготовки пересічного експерта. Отже, необхідно було розробити такі методи та засоби проведення експертизи, які б забезпечили безумовне виявлення слідів цифрової обробки аналогових та цифрових фонограм. В процесі такого моделювання було показано (а потім і доведено експериментально), що при будь-якому високому рівні моделювання підробки (за допомогою цифрових технологій, в оброблюваних сигналах завжди виникатимуть спотворення їх форми (і, як наслідок, спектру), які, в разі використання відповідної технології їх виявлення, завжди можуть бути виявлені в процесі проведення експертизи.

Ця технологія була реалізована в спеціально розробленій програмі Academy, побудованій на вейвлет-аналізі. В програмі застосовано оригінальний метод отримання з вейвлет-портретів сигналів, що досліджуються, спектрограм у зручній та наочній графічній формі [5]. Розроблений метод експертизи впроваджено у Київському, Одеському та Львівському НДІСЕ та в Національній академії внутрішніх справ України.

При добиранні різних моделей обробки автори радилися з експертами практично всіх вітчизняних НДІ судових експертиз і брали до уваги всі пропозиції, надані експертами.

Найскладніший спосіб підробки фонограм (як з точки зору її виявлення, так і реалізації) було

запропоновано фахівцями Київського НДІСЕ.

Спосіб полягає у введенні фонограми в цифровій формі в ПЕОМ для її подальшої обробки. Сама обробка проводиться шляхом перестановки окремих часових фрагментів фонограми в спеціальному редакторі, розробленому для цього експерименту. Редактор дозволяє проводити обробку без розкриття фонограми у якому-небудь з відомих форматів для звукових файлів. Таким чином, обробка проводиться шляхом перестановки позицій у програмі, яка відбиває зміст фонограми у редакторі.

Оскільки ця модель була запропонована вже після створення програми Academy, то спочатку було проведено експеримент, який довів здатність програми до виявлення такої обробки, а потім було надано теоретичне обґрунтування такої здатності (хоча всі інші моделі спочатку розглядалися теоретично, а вже потім на експериментах доводилася придатність програми для виявлення слідів цифрової обробки, розглянутих у таких моделях).

Дійсно, з точки зору фахівця з комп'ютерної обробки сигналів таку підробку виявити неможливо – адже "лише" переставляються відліки, що надаються у цифровій формі, тобто набір якихось цифр. Але, з точки зору спектрального аналізу така перестановка є нічим іншим, як вирізуванням частини сигналу з його заданої спочатку послідовності, тобто формально відповідає умові множення тієї частини сигналу, що переставляється, на функцію

$$\text{rect} \frac{t}{\Delta_B}, \quad (1)$$

де t – час, Δ_B – тривалість сигналу, що вирізається.

Припустимо, що на цифровому звукозаписувальному пристрої було записано сигнал

$$s(t) = A_m \cos \varpi_0 t. \quad (2)$$

Цей сигнал був оцифрований у пристрої звукозапису та введений у цифровій формі у ПЕОМ. Потім, за допомогою спеціального редактора з цього сигналу було вирізано часову ділянку довжиною Δ_B , та переставлено на іншу позицію в редакторі. Отриманий таким чином фальсифікат перенесено у цифровій формі на той же звукозаписувальний пристрій, на якому була записана первинна фонограма.

У випадку, якщо записаний сигнал не оброблявся, він, відтворений з аналогового виходу цього пристрою, запишеться як

$$s_{1d}(t) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect} \left(\frac{t - n_1 T_1}{T_1} \right) \cos \omega_0 (n_1 T_1), \quad (3)$$

а його спектр, відповідно, як

$$S_{1d}(j\omega) = \frac{A_m \omega_{D1}}{\omega} \sin \omega \frac{T_1}{2} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) + \delta(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1})], \quad (4)$$

де T_1 – період дискретизації в звукозаписувальному пристрої, ω_{D1} – частота дискретизації в цьому ж пристрої [1].

Але сигнал, отриманий за рахунок операції переставлення вибірок, необхідно записати як

$$s_{11d}(t) = \text{rect} \left(\frac{t}{\Delta_B} \right) \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect} \left(\frac{t - n_1 T_1}{T_1} \right) \cos \omega_0 (n_1 T_1), \quad (5)$$

де Δ_B – тривалість вирізаної ділянки сигналу ($\Delta_B > T_1$).

Спектр цього сигналу можна отримати, діючи оператором прямого перетворення Фур'є на обидві частини рівняння (5). При цьому слід врахувати, що перетворенню Фур'є добутку сигналів у часовій області відповідає згортка спектрів цих сигналів в спектральній області, тобто

$$\begin{aligned} S_{11d}(j\omega) &= F\{s_{11d}(t)\} = F\left\{\text{rect} \left(\frac{t}{\Delta_B} \right) \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect} \left(\frac{t - n_1 T_1}{T_1} \right) \cos \omega_0 (n_1 T_1)\right\} = \\ &= F\left\{\text{rect} \left(\frac{t}{\Delta_B} \right)\right\} \otimes F\left\{\sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \text{rect} \left(\frac{t - n_1 T_1}{T_1} \right) \cos \omega_0 (n_1 T_1)\right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тоді цей вираз можна записати як

$$\begin{aligned}
S_{11d}(j\omega) &= \frac{\Delta_B \sin \frac{\omega \Delta_B}{2}}{\pi \omega \Delta_B} \otimes \frac{2\pi A_m}{\omega T_1} \sin \frac{\omega T_1}{2} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) - \delta(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1})] = \\
&= \frac{2A_m \Delta_B}{T_1} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\sin \frac{\nu \Delta_B}{2}}{\nu \Delta_B} \cdot \frac{1}{\omega - \nu} \sin \frac{(\omega - \nu) T_1}{2} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu) - \delta(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu)] \right\} d\nu, \quad (7)
\end{aligned}$$

де ν – нова змінна, введена для операції згортки.

Застосувавши елементарні тригонометричні перетворення, вираз (7) приведемо до виду:

$$\begin{aligned}
S_{11d}(j\omega) &= \frac{A_m}{T_1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos \left\{ \frac{\nu \Delta_B - \omega T_1 + \nu T_1}{2} \right\}}{\nu(\omega - \nu)} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu) - \delta(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu)] d\nu - \\
&- \frac{A_m}{T_1} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\cos \left\{ \frac{\nu \Delta_B + \omega T_1 + \nu T_1}{2} \right\}}{\nu(\omega - \nu)} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} [\delta(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu) - \delta(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1} - \nu)] d\nu. \quad (8)
\end{aligned}$$

Скористаємося відомою властивістю δ -функції, але попередньо визначимо "нульові" значення аргументів, що стоять під знаком δ -функції. Вони визначаються як $\nu = \omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1}$ і $\nu = \omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1}$. Отже, спектр вирізаного та перенесеного сигналу остаточно набуває вигляду:

$$\begin{aligned}
S_{11d} &= \frac{A_m}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos [(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) \Delta_B - (\omega_0 + k_1 \omega_{D1}) T_1]}{(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1})(\omega_0 - k_1 \omega_{D1})} + \frac{\cos [(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) \Delta_B + (\omega_0 - k_1 \omega_{D1}) T_1]}{(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1})(-\omega_0 + k_1 \omega_{D1})} \right\} - \\
&- \frac{A_m}{T_1} \sum_{k_1=-\infty}^{\infty} \left\{ \frac{\cos [(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) \Delta_B + (\omega_0 + k_1 \omega_{D1}) T_1]}{(\omega - \omega_0 - k_1 \omega_{D1})(\omega_0 - k_1 \omega_{D1})} + \frac{\cos [(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1}) \Delta_B - (\omega_0 - k_1 \omega_{D1}) T_1]}{(\omega + \omega_0 - k_1 \omega_{D1})(-\omega_0 - k_1 \omega_{D1})} \right\} \quad (9)
\end{aligned}$$

Порівняння формул (4) та (9) показує, що спектр вирізаного сигналу суттєво відрізняється від спектру сигналу, що не піддавався обробці. Тому, після наступного перезапису в цифровій формі на звукозаписувальний пристрій ці спотворення зберуться у сигналі, що й було виявлено за допомогою програми Academy.

III Висновки

Теоретично доведено, що при використанні запропонованого способу підробки фонограм відбувається спотворення спектрів оброблених сигналів, а її сліди виявляються за допомогою програми Academy у вигляді появи у спектрограмах додаткових частотних складових.

Література: 1. Рибальський О. В., Жариков Ю. Ф. *Современные методы проверки аутентичности магнитных фонограмм в судебно-акустической экспертизе* / Монография. – К.: НАВСУ, 2003. – 300 с. 2. Рибальський О. В. *Проверка аутентичности фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы, как одна из составляющих информационной безопасности страны. Ч. 1* // *Захист інформації*. – К.: КМУЦА, 2003. – № 1. – С. 17-28. 3. Рибальський О. В. *Проверка аутентичности фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы, как одна из составляющих информационной безопасности страны. Ч. 2* // *Захист інформації*. – К.: КМУЦА, 2003. – № 2. – С. 24-31. 4. Рибальський О. В., Мовчан Т. В. *Неизбежные следы монтажа цифровых сигналов* // *Реєстрація, зберігання та обробка даних*. – К., 2002, Т. 4, № 2. – С. 51-61. 5. Рибальський О. В. *Программа для выявления следов цифровой обработки аналоговых и цифровых фонограмм при проведении судебно-акустической экспертизы* // *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. – К., 2003, Т. 5, № 3. – С. 50–56.